

Выводы:

1. Снижение необходимого технологического усилия процесса обеспечивается за счет выбора формы заготовки и ее расположения в штамповочном пространстве. В результате этого заполнение штамповочного пространства происходит равномерно без возникновения зон затрудненной деформации.

2. Установлена зависимость технологического усилия от скорости деформирования, которая позволяет регламентировать параметры процесса деформирования.

Список литературы: 1. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В.А. Богуслаев, В.К. Яценко; В.Ф. Притченко. – К.: Манускрипт, 1993. – 332 с. 2. Богуслаев В.А. Технология производства авиационных двигателей / В.А. Богуслаев, А.Я. Качан, В.Ф. Мозговой. - Запорожье, изд. ОАО “Мотор Сич”, 2000. – 945 с. 3. Братухин А.Г. современные технологии авиастроения / А.Г. Братухин, Ю.Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с. 4. Зубов В.П. Анализ конструктивно-технологических особенностей монолитных колес газотурбинных двигателей / В.П. Зубов, Г.А. Пудовина // Приложение к журналу “Авиационная промышленность”. – 1990. - №2. 5. Дмитриевский В.И. Нагнетатели и наддув авиационных двигателей / В.И. Дмитриевский, К.В. Холищевников. – М.: Оборонгиз, 1939. 6. Холищевников К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. М.: Машиностроение, 1976. 7. Данилов Ю.П. Новые технологии получения турбинных колес с лопатками / Ю.П. Данилов, И.И. Осипов, В.М. Воробьев // Авиационная промышленность. – 1974. - №12. – С. 18-19. 8. Осипов И.И. Высокоскоростная радиальная штамповка рабочих колес турбоагрегатов / И.И. Осипов, В.М. Воробьев // Авиационная промышленность. – 1976. - №2. 9. Воробьев В.М. Исследование и разработка новой технологии получения штампованных колес с лопатками / В.М. Воробьев, В.В. Тихонов // Сб “Повышение точности и качества при штамповке”. – М.: МДНТП. – 1975. С. 47-55. 10. Атрошенко А.П. Горячая штамповка труднодеформируемых материалов / А.П. Атрошенко, В.И. Федоров. – Ленинград. Машиностроение.- 1979. – 287 с.

УДК 612.431.75

ТИТОВ А.В., асист., НТУУ “КПИ”, Киев

МЕТОДИКА ВЫБОРА РЕЖИМОВ ВЫГЛАЖИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ БЛИЗКИХ К ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМУ

Проведено теоретическое исследование влияния смазочного слоя жидкости на контактное взаимодействие инструмента и детали при выглаживании с использованием общих уравнений Навье-Стокса. Построены номограммы для практического выбора оптимизированных параметров скорости обработки и начальной вязкости смазки для создания условий близких к гидродинамическому трению.

Проведено теоретичне дослідження впливу змащувального шару рідини на контактну взаємодію інструмента і деталі при вигладжуванні з використанням загальних рівнянь Нав'є-Стокса. Побудовані номограми для практичного вибору оптимізованих параметрів швидкості обробки та початкової в'язкості змащування для створення умов близьких до гідродинамічного тертя.

The theoretical analysis of effect of lubricating layer on contact interaction of the instrument and the detail was accomplished using the Navier-Stokes equations. The nomograms for the choice of ironing force, velocity of the process and oil viscosity in ironing process were drawn.

Повышение надежности и ресурса изделий является важнейшей задачей современного машиностроения. Эти эксплуатационные характеристики определяют в целом эффективность таких изделий машиностроения как летательные аппараты и авиационные двигатели, автомобили, сельскохозяйственная техника, стволы стрелкового оружия, комплектующих изделий машиностроения (валов, втулок, вкладышей, цилиндров) и других изделий. Работоспособность и надежность машины, ее эксплуатационные качества в значительной степени зависят от качества поверхностей деталей [1].

Одним из наиболее широко применяемых для отделочно-упрочняющей обработки деталей газотурбинных двигателей (ГТД) методов поверхностного пластического деформирования является – алмазное выглаживание. В результате использования этого процесса обеспечивается качество поверхности деталей: снижается шероховатость поверхности, повышается ее микротвердость и износостойкость, формируются остаточные напряжения сжатия.

При выглаживании сталей контактное взаимодействие инструмент-деталь характеризуется малым коэффициентом трения 0,05 – 0,10. Поэтому процессы протекают устойчиво, а эффективность выглаживания определяется, как правило, усилием выглаживания и формой инструмента. Однако, при выглаживании изделий из сплавов ряда металлов (титан, цирконий, тантал) силы адгезионного взаимодействия велики. Что выражается в резком увеличении силы трения и налипании частиц обрабатываемого металла на рабочую поверхность индентора. Это делает затруднительным или, практически, невозможным выглаживание этих металлов и сплавов.

Очевидной является необходимость управления силами трения на контактной поверхности. Это направление работ приобретает в настоящее время приоритетное значение поскольку позволит проектировать процессы выглаживания для любых конструкционных материалов.

Экспериментальные и теоретические оценки показывают, что величина коэффициента трения на контактной поверхности не должна превышать 0,2...0,25. Это соответствует процессам, протекающим в условиях граничного трения или адсорбционной смазки (по Б.В. Дерягину) [2, 3], когда на трущихся поверхностях образуются тонкие (молекулярные) слои пленок, как правило углеводородов (карбоксилы -COOH, гидроксилы -OH, аминогруппы и др.). Эти пленки за счет высоких адсорбционных свойств закрепляются на поверхностях трущихся тел и не разрушаются при очень высоких давлениях.

Снижение коэффициента трения обеспечивает эффективность процесса выглаживания. Это может быть достигнуто при создании условий контактного взаимодействия, соответствующих гидродинамическому трению. Согласно теории гидродинамического трения (по Н.П. Петрову) [3], основными влияющими параметрами процесса взаимодействия являются – коэффициент вязкости смазки и скорость взаимного движения трущихся тел.

Авторами [4, 5, 6] отмечается, что изменение скорости выглаживания в рабочем диапазоне (до 4 м/с) практически не влияет на коэффициент трения при выглаживании закаленных сталей. При выглаживании мягких материалов –

незакаленных сталей, алюминия, бронзы с увеличением скорости коэффициент трения значительно уменьшается. Так, при выглаживании алюминиевого сплава Д16Т коэффициент трения уменьшается вдвое при увеличении скорости от 0,8 до 3,2 м/с.

Экспериментально показано, что увеличение коэффициента вязкости смазок вплоть до использования твердых смазок дает положительный результат [7, 8]. В качестве твердых смазок могут быть использованы полимерные покрытия, тонкие (напыленные) слои металлов и другие, в том числе ионно-вакуумные многослойные покрытия. Недостатком применения твердых смазок является необходимость их удаления после выполнения операции выглаживания. Такие дополнительные операции не только увеличивают общую трудоемкость обработки, но и могут влиять на окончательные свойства поверхностного слоя обработанных деталей.

Наиболее перспективным при обработке выглаживанием является создание условий гидродинамического или рубежного режима гидродинамического трения между инструментом и заготовкой при обработке. При этом коэффициент трения может быть достигнут в пределах 0,01...0,05. В случае рубежного режима гидродинамического трения происходит сглаживания шероховатости микрорельефа поверхности при наличии тонкого слоя жидкой смазки. Определяющим фактором достижения этих условий трения является значительное увеличение скорости обработки при выглаживании, при которой гидродинамическое давление смазки будет уравнивать деформирующие удельные усилия на контактной поверхности, в ряде случаев превышающие предел текучести материала обрабатываемой заготовки. При этом можно использовать подход описанный в статье [9] для процесса поверхностного пластического деформирования с высокими контактными напряжениями.

Данная статья является продолжением работы [10, 11], в которой на основании комплексного анализа процесса выглаживания установлены значимые факторы контактного взаимодействия инструмента и заготовки, которые формируют параметры качества деталей в зависимости от реализуемых параметров технологического процесса: удельное усилие взаимодействия инструмента с заготовкой и контактное трение на поверхности их взаимодействия. Установлено, что управление контактным взаимодействием инструмента и заготовки можно производить влияя на коэффициент трения за счет изменения вязкости смазки и скорости их взаимодействия. Наиболее благоприятным для реализации процесса выглаживания является рубежный режим гидродинамического трения между заготовкой и инструментом.

Целью данной работы является определение взаимосвязи между давлением в смазочной пленке со скоростью обработки и вязкостью смазки с использованием уравнений движения Навье-Стокса для выбора оптимизированных параметров процесса выглаживания деталей в условиях трения близких к гидродинамическому.

Расчетная схема процесса приведена на рис. 1.

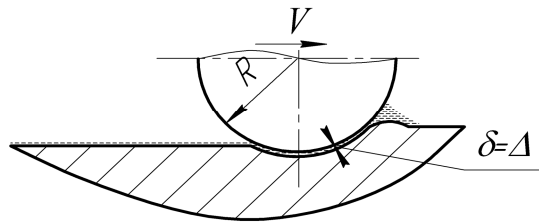


Рис. 1. Расчетная схема процесса выглаживания

$$p = \sigma_{rr} \quad (1)$$

где p – гидростатическое давление смазки между индентором и деталью; σ_{rr} – нормальное напряжение, действующее на контактной поверхности индентор-деталь при выглаживании.

В силу малости зазора между индентором и заготовкой считаем, что движение смазки имеет ламинарный режим, тогда составляющая радиальной скорости перемещений $V_r = 0$. Ввиду симметрии рассматриваемого сечения также считаем осевую компоненту равной $V_z = 0$. Тангенциальная скорость V_θ движения смазки в силу градиента давлений будет функцией координаты r .

$$V_z = V_r = 0, V_\theta = V_\theta(r) \quad (2)$$

В этом случае уравнения движения Навье-Стокса имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial r} &= \rho \frac{V_\theta^2}{r}; \\ \frac{\partial P}{\partial \theta} &= \eta r \left(\frac{\partial^2 V_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial r} - \frac{V_\theta}{r^2} \right); \\ \frac{\partial P}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

В результате решения уравнений (3) получена зависимость устанавливающая связь между давлением в смазочной пленке, а также скоростью обработки и вязкостью смазки, которые позволяют определять требуемое гидродинамическое давление.

$$\frac{P}{\left(\frac{V_0}{(R + \delta)} - \frac{\delta \cdot P}{2\theta R \eta} \right)^2} = \rho \cdot \frac{1}{\delta^2 (2R + \delta)^2} \cdot \left(\frac{1}{6} r^6 + \frac{4}{5} R r^5 + R^2 r^4 - \frac{4}{3} R^3 r^3 - \right. \\ \left. - 5 R^4 r^2 - 4 R^5 r + 4 R^6 \ln r + 4 \frac{R^7}{r} - \frac{1}{2} \frac{R^8}{r^2} \right), \quad (4)$$

Анализ зависимости (4) показывает, что гидростатическое давление смазки увеличивается с увеличением вязкости смазки и скорости обработки.

Достоверность полученных результатов была оценена при сравнении с известными решениями [12, 13]. Сравнение решения уравнения (4) с решением одномерного уравнения Рейнольдса для стационарного движения смазки с применением условия Зоммерфельда $p = 0$ при $x \geq 0$. Установлено, что погрешность определения не превышает 11 – 15 %.

Полученное уравнение (4), учитывая вязкость смазки и скоростные режимы обработки, позволяет оценить также влияние на гидростатическое давление геометрических параметров инструмента, а также состояния шероховатости поверхности инструмента и детали.

Уравнение (4) позволяет выбирать оптимизированные скорость обработки детали выглаживанием и необходимую вязкость смазки, которые обеспечивают противодействие смазочной пленки деформируемой поверхности детали для достижения условий гидродинамической смазки по условию

$$p \geq \sigma_n, \quad (5)$$

где σ_n - максимальные нормальные напряжения, которые возникают в месте контакта инструмента и обрабатываемой детали.

Учитывая высокий уровень контактных давлений (до 2000 МПа), считая жидкость (смазку) несжимаемой, а процесс изотермическим введена функциональная зависимость между вязкостью и давлением в виде

$$\eta(p) = \eta_0 e^{\alpha p}, \quad (6)$$

где η_0 - вязкость при атмосферном давлении и температуре T_0 , $\text{Па} \cdot \text{с}$

α - пьезокоэффициент вязкости, $\text{Па}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

При подстановке (6) в (4) получаем уравнение вида

$$p = \varphi(p, \eta(p)) \quad (7)$$

Решение уравнения (7) выполнено методом итераций.

На рис. 2 и рис. 3 приведены номограммы для выбора скорости обработки и вязкости смазки для обеспечения гидродинамических условий взаимодействия инструмента с деталью при выглаживании для фиксированных нормальных напряжений на контактной поверхности. Номограмма построена в пределах изменения скорости обработки от 0 до 20 м/с, которые характерны для выглаживания. Шкала вязкости смазки изменяется в зависимости от величины динамической вязкости минеральных масел до величин которые характеризуют жесткие материалы, например пластмассы и металлы.

Для σ_n , которая определяется из расчета процесса выглаживания, подбирается величина динамической смазки и скорости обработки по рис. 2, путем движения по линии $\sigma_n = \text{const}$ из множества пар η и V выбирают ту, динамическая вязкость которой при этих контактных напряжениях лежит в области значений жидких смазок. Для выбранной величины динамической смазки по графику рис. 3 определяют кинематическую вязкость требуемой смазки при нормальных условиях (определенных ГОСТом).

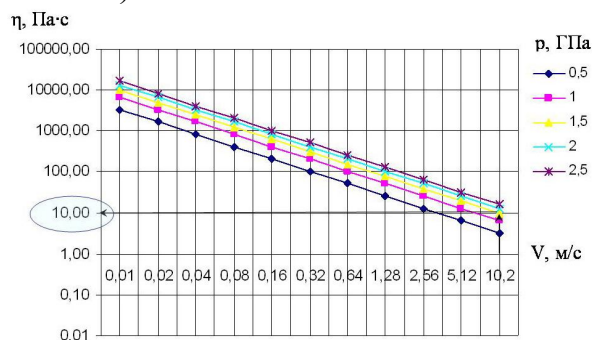


Рис. 2. Номограмма вязкость-скорость при различных значениях контактного давления

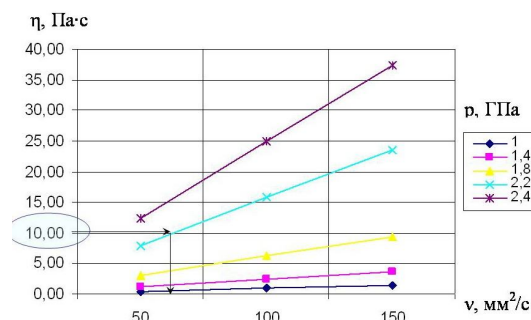


Рис. 3. Номограмма вязкость-скорость при различных значениях контактного давления

Дальнейшее уточнение математической модели контактного взаимодействия индентора с деталью может быть получено при принятии гипотезы смешанного режима трения, когда полная приложенная нагрузка воспринимается частично гидродинамическим действием и частично контактами неровностей на основе ранее разработанных моделей смешанной смазки Гюмбеля [14], Фогельполя [15], Кристена [16], Берте [17], Джонсона [18], Таллиана [19, 20] и других.

Выводы: Выполнено теоретическое исследование влияния смазочного слоя жидкости на контактное взаимодействие инструмента и детали при выглаживании с использованием общих уравнений Навье-Стокса. Получено уравнение, которое устанавливает взаимосвязь между давлением в смазочной пленке со скоростью обработки и вязкостью смазки. Для практического использования построены номограммы, которые позволяют производить выбор оптимизированных параметров процесса выглаживания деталей в условиях трения близких к гидродинамическому.

Список литературы: 1. Богуслаев В.А., Яценко В.К., Притченко В.Ф. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД. – К.: Манускрипт, 1993. – 333 с. 2. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Гос. из-во физ.-мат. лит., 1963. – 472с. 3. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968.- 480 с. 4. Торбило В.М. Алмазное выглаживание. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с. 5. Михин Н.М. Трение в условиях пластического контакта. – М.: Наука, 1968. – С. 6. Хворостухин Л.А., Волков А.Ф. К вопросу о трении при алмазном выглаживании / Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1969. – №7. 7. Розенберг О.А. К вопросу разработки технологических смазок для деформирующего протягивания деталей из сплава ВТ 1-0 / Розенберг О.А., Пащенко Е.А., Шейкин С.Е., Ростоцкий И.Ю. // Технологические системы, 2007, № 2(38) – С. 27-32. 8. Титов А.В. Особенности алмазного выглаживания сплава ВТ-23 с использованием твердой смазки / Титов А.В., Лабур Т.М., Пузырёв А.Л. // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. – К.: НТУУ «КПИ». – 2008. – № 53. – С. 202-207. 9. Титов В.А. Некоторые особенности контактного взаимодействия инструмента и заготовки при деформирующем протягивании отверстий / Титов В.А., Яворовский В.Н., Герасимов О.В. // Технологические системы, 2002, № 2(13) – С. 40-44 10. Титов В.А. Некоторые перспективные направления развития процессов выглаживания конструкционных материалов / Титов В.А., Титов А.В. // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ» - 2009. – № 32. – С. 78-86. 11. Титов А.В. Повышение эффективности выглаживания различных конструкционных материалов за счет управления скоростными и силовыми параметрами нагружения инструмента / Титов А.В. // Вісник НТУУ "Київський політехнічний інститут". Серія машинобудування. – К. НТУУ "КПІ". – 2010. – С. 121-125. 12. Rippel H.C.,

Decker O., Zudans Z. NASA Contributions to Fluid – Film Lubrication – A Survey, NASA SP – 5058, Washington, 1969. **13.** Чухос Х. Системный анализ в трибонике – М.: Мир, 1982. – 352 с. **14.** Gumbel L., Der Einfluss der Schmierung auf die Konstruktion, Jb. Schiff-bautechn. Ges., 18, 299 (1917). **15.** Vogelpohl G., Die Stribeck-Kurve als Kennzeichen des allgemeinen Reibungsverhaltens geschmierter Gleitflächen, VDJ-Z., 96, 261 (1954). **16.** Christensen H., A theory of mixed lubrication, Proc. Instn. Mech. Engrs., London, 186, 421 (1972). **17.** Berthe D., Godet M., A more general form of Reynolds equation – application to rough surfaces, Wear, 27, 345 (1974). **18.** Johnson K. L., Greenwood J. A., Poon S. Y., A simple theory of asperity contact in elastohydrodynamic lubrication, Wear, 19, 91 (1972). **19.** Tallian T. E., The theory of partial elastohydrodynamic contacts, Wear, 21, 49(1972). **20.** Forbes E. S., Antiwear and extreme pressure additives for lubricants, Tribology, 3, 145 (1970)

УДК 621.438.002.2

ТИТОВ В.А., докт. техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ

ЗЛОЧЕВСЬКА Н.К., асистент кафедри МПМ та РП, НТУУ «КПІ», Київ

ЛАВРІНЕНКОВ А.Д., аспірант кафедри МПМ та РП, НТУУ «КПІ», Київ

ГАРАНЕНКО Т.Р., студент кафедри МПМ та РП, НТУУ «КПІ», Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ІЗОТЕРМІЧНОГО ПРЕСУВАННЯ ЗАГОТОВОК З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Выполнен анализ технологического процесса путем исследования влияния условий трения на контактирующих поверхностях заготовки и матрицы на напряжённо – деформированное состояние лопатки из сплава ВТ8 при изотермическом прессовании. Получено распределение скоростей течения металла и распределение осевых напряжений используя инженерную программу DEFORM-3D.

Виконаний аналіз параметрів технологічного процесу шляхом дослідження впливу умов тертя на контактних поверхнях заготовки та матриці на напружено-деформований стан заготовки лопатки зі сплаву ВТ8 при ізотермічному пресуванні. Отримано розподіл швидкостей течії металу та розподіл осьових напружень за допомогою інженерної програми DEFORM-3D.

The analysis of the process by studying the effect of the conditions of friction on the contacting surfaces of the workpiece and the matrix on the stress - strain state of the blade alloy VT8 isothermal compression. The distribution of current velocities and metal distribution of axial stresses using engineering software DEFORM-3D.

Вступ

Надійність та ресурс сучасної авіаційної техніки значною мірою залежить від ефективності авіаційних газотурбінних двигунів. Удосконалення авіаційних двигунів, в свою чергу, висуває нові вимоги к технологіям їх виготовлення. Зростання робочих температур та тиску вимагає більш широкого використання високоміцних та жаростійких сплавів. Тенденція скорочення кількості деталей приводить до ускладнення геометричних форм, а зниження маси двигуна призводить до використання деталей малої питомої жорсткості.

Виготовлення лопаток займає особливе місце в сучасному двинунобудуванні. Це зумовлено з наступними особливостями їх виготовлення [1,2]: